
АНАЛІЗ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ЦИФРОВИХ І АНАЛОГОВИХ СИСТЕМ

УДК 621.317.337 (088.81)

Драбич П., Драбич О.

Фізико-механічний інститут ім. Г.В.Карпенка НАН України

ОЦІНКА ЗАВАДОСТІЙКОСТІ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПОШУКОВО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ ПРИ АБСОЛЮТНИХ ТА ДИФЕРЕНЦІЙНИХ ВИМІРЮВАННЯХ

© Драбич П., Драбич О., 2000

Розглянуто електромагнітний метод пошуку і обстеження підземних комунікацій. Вивчено вплив на результат вимірювань електромагнітних полів паралельних комунікацій. Наведені формули для обчислення співвідношення сигнал / завада при абсолютних та диференційних вимірюваннях. Числовими розрахунками підтверджена ефективність диференційного методу і описана структурна схема мікрокомп'ютерного пристрою для його реалізації.

Інтенсивно зростаюча кількість розміщених у ґрунті різноманітних інженерних комунікацій, зокрема нафто-, газо- та продуктопроводів, кабелів електропередач, кабелів зв'язку, телекомунікацій тощо вимагає для їх ефективного обслуговування і надійної експлуатації створення ефективних завадостійких пошукових систем, що дозволяють оперативно визначати їх координати (вісь і глибину залягання) та технічні характеристики (якість ізоляційного покриття та ін.).

Для вирішення цієї задачі серед інших широко використовуються електромагнітні методи, що ґрунтуються на вимірюванні інформативних параметрів електромагнітного поля, яке випромінюється в навколишнє середовище обстежуваним об'єктом. Використання вказаних методів забезпечує простоту технічної реалізації відповідних пошукових пристроїв і систем. При побудові використовується фізична закономірність, яка полягає в тому, що напруженість магнітної складової електромагнітного поля, що випромінюється протяжним струмопровідним об'єктом, прямо пропорційна до величини змінного струму, що протікає вздовж нього, і обернено пропорційна до відстані між точкою спостереження і віссю об'єкта, тобто магнітне поле можна розглядати як поле лінійного струму, суміщеного з віссю об'єкта [1,2].

Відомі пошуково-вимірювальні прилади, наприклад, безконтактний вимірювач струму БИТ-К [3] або визначник розміщення трубопроводів ОРТ [4], які працюють на частоті струму катодного захисту (100 Гц), недостатньо ефективні при наявності поруч з обстежуваним трубопроводом інших об'єктів (наприклад, паралельних трубопроводів), що випромінюють аналогічні сигнали, які є по суті адитивними завадами.

Зменшити вплив цих завад можна подачею в комунікацію струму з частотою, яка не кратна частоті промислової мережі і її гармонік [5, 6] або використанням в якості первинного приймального перетворювача трьох розміщених на одній штанзі індукційних котушок, які забезпечують обстеження комунікацій за різницями значень наведених в них електро-

рушійних сил [2]. Конструкція трикуткової приймальної системи показана на рис.1, де 1 – ґрунт, 2 – трубопровід і 3 – штанга з котушками L1, L2, L3, розміщеними перпендикулярно до осі трубопроводу.

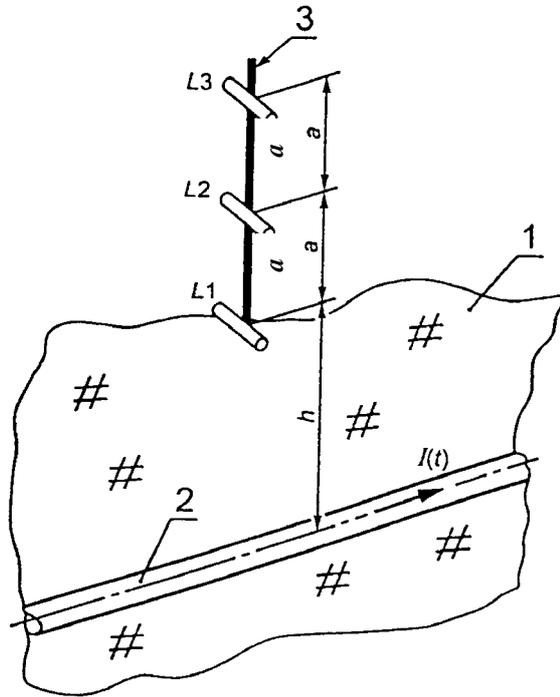


Рис.1. Трикуткова приймальна система

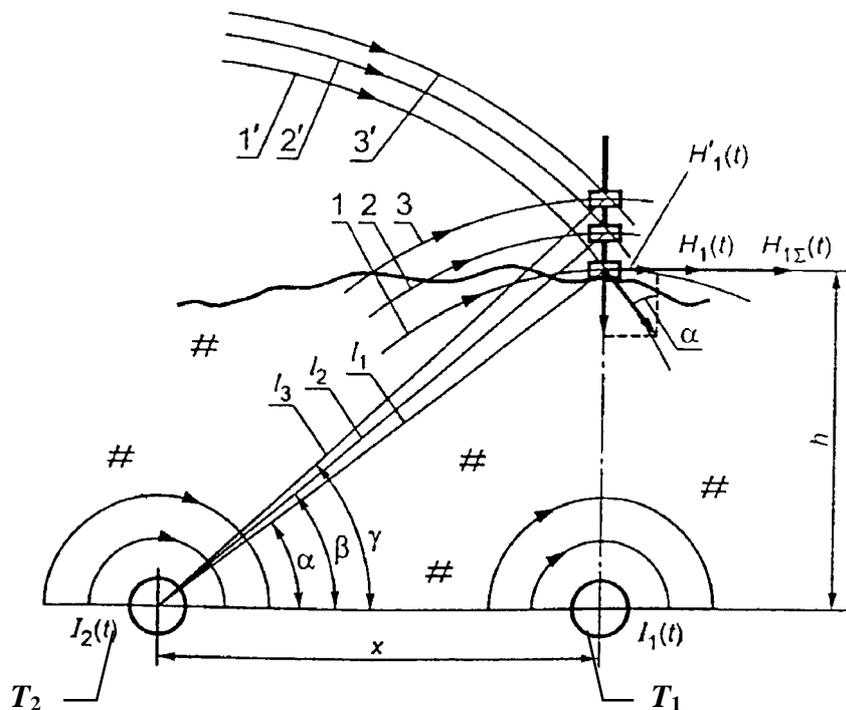


Рис.2. Елементарні магнітні потоки та горизонтальні складові напруженості магнітного поля, створеного струмами обстежуваної і паралельної до нього трубопроводів, у точках розміщення приймальної системи:

T1 – обстежувана труба; T2 – паралельна труба; Ш – штанга з трьома котушками

Оцінимо ефективність використання диференційного методу вимірювання для обстеження підземного трубопроводу при наявності поруч з ним паралельного трубопроводу (рис.2).

Елементарні магнітні потоки, обумовлені протіканням по обстежуваному трубопроводу Т1 струму $I_1(t)$ позначені на рис.2 одиничними силовими лініями 1, 2 і 3, а потоки від паралельного трубопроводу зі струмом $I_2(t)$ – одиничними силовими лініями 1', 2' і 3'.

Напруженості магнітного поля від обстежуваного трубопроводу Т1 в точках розміщення ближньої (L1), середньої (L2) і дальньої (L3) індукційних котушок над його віссю (рис.1 і 2) визначаються із співвідношень

$$H_1 = \frac{I_1(t)}{2 \pi h}, H_2 = \frac{I_1(t)}{2 \pi (h+a)}, H_3 = \frac{I_1(t)}{2 \pi (h+2a)}, \quad (1)$$

де h – відстань між віссю трубопроводу і віссю ближньої котушки, a – відстань між осями котушок ($a = const$).

Напруженості магнітного поля від сусіднього трубопроводу Т2 в тих же точках

$$H'_1(t) = \frac{I_2(t)}{2 \pi l_1} \sin \alpha = \frac{I_2(t) h}{2 \pi (h^2 + x^2)}; H'_2(t) = \frac{I_2(t)}{2 \pi l_2} \sin \beta = \frac{I_2(t) (h+a)}{2 \pi [(h+a)^2 + x^2]}$$

$$\text{і } H'_3(t) = \frac{I_2(t)}{2 \pi l_3} \sin \gamma = \frac{I_2(t)(h+2a)}{2 \pi [(h+2a)^2 + x^2]}, \quad (2)$$

де x – відстань між трубопроводами; l_1, l_2, l_3 – відстані відповідно між віссю трубопроводу Т2 і центрами ближньої, середньої і дальньої котушок; α, β, γ – кути між віссю x та відрізками l_1, l_2, l_3 .

У загальному випадку напруженості сумарного магнітного поля в точках розміщення котушок

$$\vec{H}_{1\Sigma} = \vec{H}_1 + \vec{H}'_1, \vec{H}_{2\Sigma} = \vec{H}_2 + \vec{H}'_2, \vec{H}_{3\Sigma} = \vec{H}_3 + \vec{H}'_3, \quad (3)$$

а їх амплітудні значення визначаються із співвідношень:

$$H_{1\Sigma} = \sqrt{H_1^2 + H_1'^2 + 2H_1H_1' \cos \varphi}, H_{2\Sigma} = \sqrt{H_2^2 + H_2'^2 + 2H_2H_2' \cos \varphi}$$

$$\text{та } H_{3\Sigma} = \sqrt{H_3^2 + H_3'^2 + 2H_3H_3' \cos \varphi}, \quad (4)$$

де φ – фаза між струмами $I_1(t)$ і $I_2(t)$.

При синфазних струмах

$$H_{1\Sigma} = \sqrt{H_1^2 + H_1'^2 + 2H_1H_1' \cos 0^\circ} = H_1 + H_1',$$

$$H_{2\Sigma} = \sqrt{H_2^2 + H_2'^2 + 2H_2H_2'} = H_2 + H_2' \text{ і } H_{3\Sigma} = H_3 + H_3'. \quad (5)$$

При протифазних струмах

$$H_{1\Sigma} = \sqrt{H_1^2 + H_1'^2 + 2H_1H_1' \cos 180^\circ} = H_1 - H_1', H_{2\Sigma} = H_2 - H_2' \text{ і } H_{3\Sigma} = H_3 - H_3'.$$

Очевидно, що найбільший вплив сусідній трубопровід має у випадку синфазних або протифазних струмів. Тому оцінимо співвідношення сигнал / завада для випадку синфазних струмів при вимірюванні абсолютних значень сумарних напруженостей сумарного магнітного поля та їх різниць.

При синфазних струмах з амплітудами $I_1 = I_2 = I$

$$H_{1\Sigma} = \frac{I}{2\pi} \left[\frac{1}{h} + \frac{h}{h^2 + x^2} \right]; \quad H_{2\Sigma} = \frac{I}{2\pi} \left[\frac{1}{h+a} + \frac{h+a}{(h+a)^2 + x^2} \right];$$

$$H_{3\Sigma} = \frac{I}{2\pi} \left[\frac{1}{h+2a} + \frac{h+2a}{(h+2a)^2 + x^2} \right]. \quad (7)$$

Для оцінки ефективності диференційного методу знайдемо співвідношення сигнал / завада для абсолютних і диференційних вимірювань.

У першому випадку

$$\delta_1 = \frac{H_1}{H'_1} = \frac{h^2 + x^2}{h^2}. \quad (8)$$

Для випадку диференційних вимірювань

$$\delta_2 = \frac{\Delta H_1}{\Delta H'_1} = \frac{(h^2 + x^2) \left[(h+a)^2 + x^2 \right]}{h(h+a) |h^2 + ah - x^2|}, \quad (9)$$

де $\Delta H_1 = H_1 - H_2$, а $\Delta H'_1 = H'_1 - H'_2$.

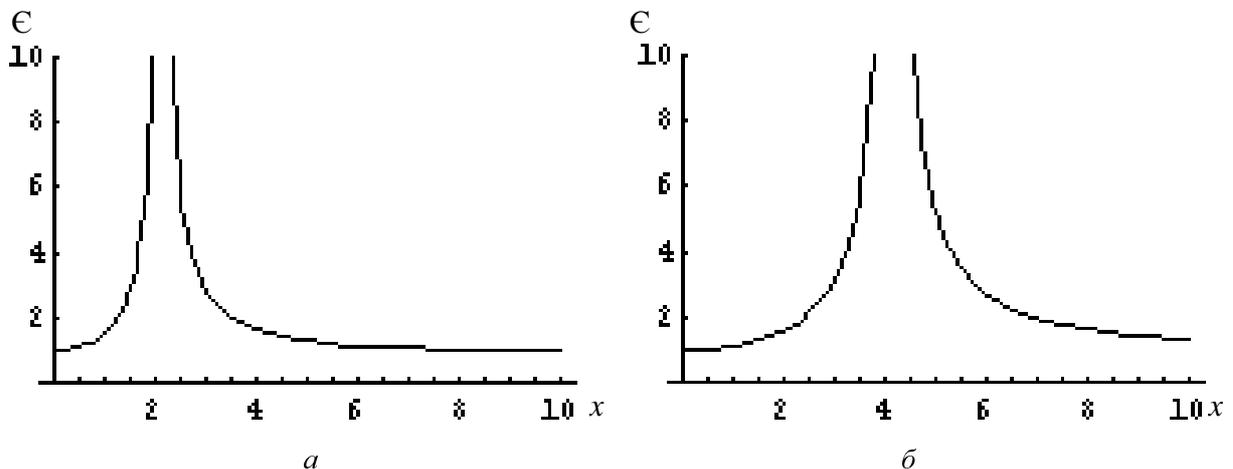
Розділивши δ_2 на δ_1 , оцінимо вигравш ϵ , одержаний при диференційній обробці вимірювальних сигналів

$$\epsilon = \frac{\delta_2}{\delta_1} = \frac{h \left[(h+a)^2 + x^2 \right]}{(h+a) |h^2 + ah - x^2|}. \quad (10)$$

Аналізуючи рівняння (10) приходимо до висновку, що при $x \geq 0$ $\epsilon \geq 1$.

Прийmemo $a=0,3\text{м}$ і обчислимо ϵ залежно від відстані $x \in (1,10)\text{м}$ при $h = 2\text{ м}$, $h = 4\text{ м}$ та $h = 6\text{ м}$.

Результати обчислень наведені на рис.3,а-в. Із графічних залежностей видно, що застосування диференційного методу суттєво підвищує завадостійкість електромагнітних пошуково-вимірювальних систем при накладанні на інформативний сигнал синхронної адитивної завади від дещо віддалених від обстежуваної сусідніх комунікацій. Цікаво теж відзначити, що при $x \rightarrow \sqrt{h^2 + ah}$ вигравш $\epsilon \rightarrow \infty$. У реальніших ситуаціях трубопроводи розміщені на глибині від 2 до 6 м, а відстань між ними складає величину $\approx (8-10)\text{ м}$. У цих випадках вигравш $\epsilon = 1-4$ разів.



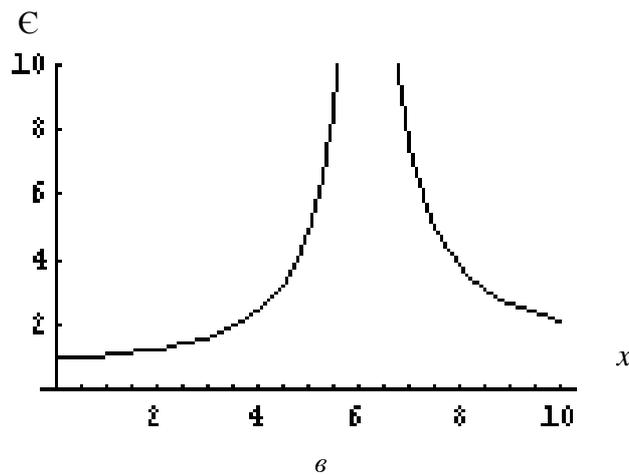


Рис.3. Графіки співвідношення сигнал / завада

Один з можливих варіантів мікрокомп'ютерного пристрою для пошуку та корозійних обстежень підземних трубопроводів, в якому використано диференційний метод обробки інформативних сигналів на фоні синхронних адитивних завад, показаний на рис.4.

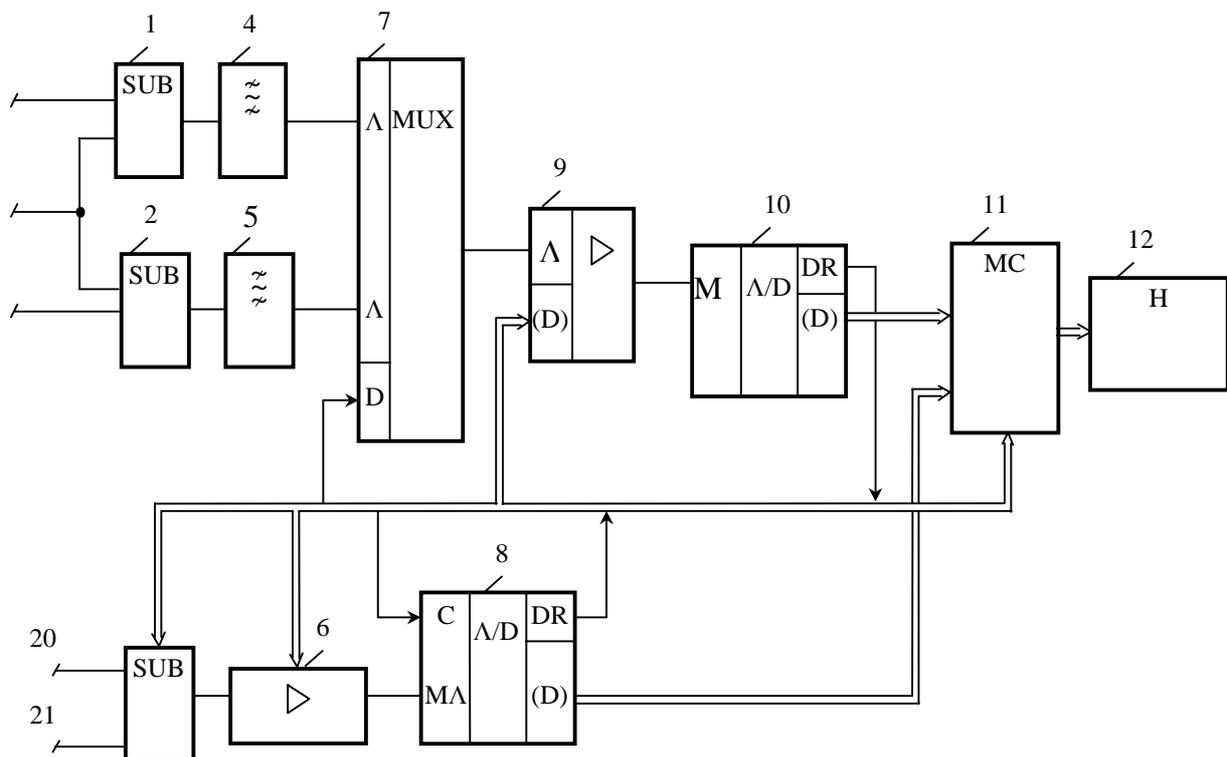


Рис.4. Структурна схема мікрокомп'ютерного пристрою для пошуку і обстеження підземних комунікацій, що реалізує диференційні вимірювання

Він складається з віднімачів напруг 1 і 2, формувача різниці потенціалів 3, вибірних підсилювачів 4 і 5, керованих підсилювачів 6 і 9, мультиплектора 7, аналого-цифрових перетворювачів 8 і 10, мікрокомп'ютера 11 та дисплея 12.

Пристрій забезпечує визначення безконтактним індукційним методом осі та глибини залягання підземних трубопроводів, а також амплітуди і різниці амплітуд струму, що ними протікає на одиниці довжини труби. Крім того, він може вимірювати контактним методом

різницю постійних або змінних електричних потенціалів між трубою і поверхнею ґрунту або між поверхнею ґрунту безпосередньо над трубою і ділянкою ґрунту, дещо віддаленою від труби під прямим кутом до неї, а також різницю потенціалів між двома електродами, розміщеними над трубою на заданій відстані вздовж її осі.

Принцип дії пристрою такий.

Нехай на входи 13, 14 і 15 подаються електрорушійні сили $e_{1\Sigma}$, $e_{2\Sigma}$, $e_{3\Sigma}$, наведені в ідентичних ближній (L1), середній (L2) і дальній (L3) котушках сумарним електромагнітним полем від обстежуваної та сусідньої труб, а на входи 16 і 17 – потенціали $E_1(t)$ і $E_2(t)$ від розміщених над трубою електродів. Напруги $e_{1\Sigma}$, $e_{2\Sigma}$, $e_{3\Sigma}$ зв'язані з напруженостями $H_{1\Sigma}$, $H_{2\Sigma}$, $H_{3\Sigma}$ за співвідношенням [7]:

$$e(t) = 2\pi\mu_0\mu_T f W S H(t), \quad (11)$$

де: $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнітна проникність повітря; μ_T – відносна магнітна проникність осердя котушки; W – кількість витків в кожній котушці; S – площа середнього витка в кожній котушці, м².

Утворені на виходах віднімачів 1 і 2 напруги

$$\Delta e_1(t) = k_1 [e_{1\Sigma}(t) - e_{2\Sigma}(t)] \text{ та } \Delta e_2(t) = k_1 [e_{2\Sigma}(t) - e_{3\Sigma}(t)], \quad (12)$$

де k_1 – коефіцієнт підсилення по напрузі віднімачів 1 і 2, через вибіркові підсилювачі 4 і 5, налаштовані на частоту f вхідних сигналів, подаються на аналогові входи мультиплексора 7, керованого мікрокомп'ютером 11. На виході мультиплексора 7 почергово протягом інтервалу часу $T_0 = N_0 f^{-1}$ (N_0 – кількість періодів коливань вхідних сигналів) утворюються “вирізки” напруг

$$\Delta U_1(t) = k_2 k_3 \Delta e_1(t) \text{ та } \Delta U_2(t) = k_2 k_3 \Delta e_2(t), \quad (13)$$

де k_2 – коефіцієнт підсилення за напругою підсилювачів 4 і 5, а k_3 – підсилювача 9.

Для досягнення потрібної точності обчислення заданих в програмі мікрокомп'ютера 11 параметрів інформативних сигналів, амплітуда сигналу $\Delta U_1(t)$ на виході підсилювача 9 автоматично підтримується на рівні ≈ 2 В. На вході аналого-цифрового перетворювача 10 міститься схема вибірки-зберігання, яка запам'ятовує амплітудні значення сигналів $\Delta U_1(t)$ та $\Delta U_2(t)$ і подає команду аналого-цифрового перетворення вказаних значень. Після закінчення кожного перетворення на виході аналого-цифрового перетворювача утворюється двійковий код амплітудних значень напруг $\Delta U_1(t)$ та $\Delta U_2(t)$, а також сигнал закінчення перетворення. Вказані сигнали поступають на першу групу входів мікрокомп'ютера 11, який за одержаними даними виробляє цифровий код коефіцієнта підсилення k_3 .

Одночасно з обробкою сигналів $e_{1\Sigma}(t)$, $e_{2\Sigma}(t)$ та $e_3(t)$, піддається підсиленню і цифровому перетворенню різниця змінних потенціалів $\Delta E(t) = E_1(t) - E_2(t)$. Для цього в пристрої використано формувач різниці потенціалів 3 із смуговим фільтром на виході, налаштованим на частоту f , керований мікрокомп'ютером 11 підсилювач напруги 6 та аналого-цифровий перетворювач 8, на аналоговий вхід якого подається напруга, $\Delta U_3(t) = k_4 k_5 \Delta E(t)$ де k_4 і k_5 – коефіцієнти підсилення за напругою відповідно формувача

3 та підсилювача 6. Аналого-цифровий перетворювач 8 теж містить на вході схему вибірки-зберігання і в ньому відбуваються такі ж процеси, як і в перетворювачі 10. Двійковий код напруги $U_3(t)$ і сигнал закінчення перетворення подаються на другу вхідну шину даних мікрокомп'ютера 11. Якщо на клеми 20 і 21 подаються постійні потенціали, формувач різниці командою мікрокомп'ютера 11 переводиться в режим роботи за постійним струмом, а аналого-цифровий перетворювач 8 – в режим синхронізації від мікрокомп'ютера.

У мікрокомп'ютері 11 закладена *PROM*-програма для визначення глибини залягання трубопроводу, амплітуди змінного струму, що по ньому протікає, та коефіцієнта його згасання на одиниці довжини трубопроводу. Обчислення виконуються за одним із співвідношень, наведених в [8]. За значеннями коефіцієнта згасання та різниці потенціалів судять про якість ізоляційного покриття труби. Характеристики ґрунту біля труби, зокрема його питомий опір, які необхідно знати при дослідженні корозійних процесів на трубопроводі, обчислюються мікрокомп'ютером за співвідношенням, наведеним в [9]. У мікрокомп'ютері передбачений також режим накопичення даних при низькому рівні вхідних сигналів $e_1(t)$, $e_2(t)$ і $e_3(t)$ та $E_1(t)$ і $E_2(t)$ або при накладанні на них інтенсивних адитивних високочастотних завад. Кількість накопичень від 10^2 до 10^4 .

Описаний мікрокомп'ютерний пристрій, забезпечуючи високу завадостійкість вимірювань за рахунок диференційних методів, має порівняно з відомими більш широкі функціональні можливості, оскільки здійснює пошук і обстеження підземних комунікацій вимірюванням параметрів магнітної та електричної складових випромінюваного ними електромагнітного поля. Це забезпечує йому широке практичне використання при пошуку та обстеженні таких комунікацій, як підземні лінії електропередач, кабелі електрозв'язку, телекомунікаційні мережі, тепло-, водо-, нафто-, газо- та продуктопроводи тощо.

Висновки

У результаті теоретичного аналізу і числових розрахунків напруженостей магнітних складових електромагнітних полів, створених струмами обстежуваного і паралельного до нього підземних трубопроводів, показана ефективність за співвідношенням сигнал / завада використання диференційних методів вимірювання параметрів інформативних сигналів порівняно з вимірюванням їх абсолютних значень.

Запропонована структурна схема мікрокомп'ютерного пристрою для пошуку і корозійних обстежень підземних трубопроводів, який, реалізуючи диференційні методи вимірювань, здійснює пошук осі трубопроводу і вимірює глибину його залягання, амплітуду струму, що по ньому протікає, коефіцієнт його згасання на одиниці довжини та різницю потенціалів над трубопроводом на поверхні ґрунту. Це дає змогу оцінювати стан ізоляційного покриття трубопроводу і вивчати корозійні процеси, що в ньому відбуваються.

Маючи порівняно з відомими більш широкі функціональні властивості, описаний мікрокомп'ютерний пристрій вигідно відрізняється ще й тим, що в ньому передбачено режим накопичення значень вхідних сигналів. За рахунок цього суттєво підвищується завадостійкість оцінювання параметрів слабких інформативних сигналів на фоні інтенсивних адитивних високочастотних завад.

1. Шимони К. *Теоретическая техника*. М., 1964. 2. Patent 2070783A (GB) INTCL G01R19/00. *Measuring current in a conductor* / M.I. Howell, A.D.S Chalmers – Published 9 Sep 1981. 3. Джала Р.М., Вербенец Б.Я. *Аппаратура БИТ-К для коррозионных обследований*

подземных трубопроводов // Прогрессивные материалы, технологические процессы и оборудование для защиты металлов от коррозии. К., 1990. С.85-87. 4. Патент 1804636 (SU). МКИ G01V3/11. Устройство для определения расположения магистральных трубопроводов / Р.М. Джала, Б.Я. Вербенец, А.А. Андреев, Л.М. Пеккер. Открытия. Изобрет. 1993. № 11. 5. Барон Д.А., Горднев И.И., Евдокимов В.Н. и др. Строительство кабельных сооружений связи. М., 1998. 6. Патент 10884А (UA). G01R19/00, G01R33/02, G01V3/10. Генератор і обстеження підземних комунікацій / Драбич П.П. Открытия. Изобрет. 1996. № 4. 7. Мизюк Л.Я. Входные преобразователи для измерения напряженности низкочастотных магнитных полей. К., 1964. 8. Драбич П.П. Поиск и обследование протяженных электропроводящих коммуникаций // Измерительная техника. М., 1996. № 3. С.56-58. 9. Улич Г.Г., Ревы Р.У. Коррозия и борьба с ней. Введение в коррозионную науку и технику. Л., 1989.

УДК 621.382

Мельник А.О., Ахмад Аль-Кхатіб
 НУ “Львівська політехніка”, кафедра ЕОМ

АРХІТЕКТУРА ПРОЦЕСОРІВ ШВИДКИХ ОРТОГОНАЛЬНИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ

© Мельник А.О., Ахмад Аль-Кхатіб, 2000

Застосовано програмно- та апаратно-орієнтовані процесори для ортргонального перетворення Фур'є. Описано особливості реалізації даного перетворення за допомогою процесорів з різними архітектурами.

Вступ

При моделюванні та розробці систем обробки даних різного призначення широко застосовують методи, що ґрунтуються на математичному апараті ортогональних перетворень (ОП) – Фур'є, Хартлі, Гільберта, Лапласа, Френеля, косинусного, синусного тощо. На їх основі будують процедури спектрально-кореляційного аналізу, фільтрації, кепстрального аналізу, кодування сигналів та зображень, а також ідентифікації лінійних та нелінійних систем, відтворення зображень за проєкціями, аналізу та синтезу цифрових голограм тощо. При цьому на виконання ОП припадає значна частина загальної кількості обчислень і необхідних для цього ресурсів, тому ефективність їх виконання суттєво впливає на покращення характеристик цілого ряду технічних систем.

Для скорочення об'ємів обчислень, необхідних для виконання алгоритмів ОП, використовуються алгоритми швидких ортогональних перетворень (ШОП), для реалізації яких створюються спеціалізовані процесори, в архітектурі яких враховані особливості цих алгоритмів. На сьогодні сформувалися два основні підходи до побудови процесорів ШОП [1]. *Перший* ґрунтується на використанні універсальних програмованих процесорів, а особливості виконуваних задач враховуються, по суті, шляхом спеціалізації їх програмного забезпечення. *Другий* підхід базується на використанні процесорів, орієнтованих на виконання алгоритмів ШОП апаратним способом. Такі процесори називають функціонально-або апаратно-орієнтованими (в англійській літературі – ASIC – *Application-Specific Integration Circuit*). Розглянемо архітектури та методи проектування процесорів ШОП на основі обох підходів більш детально.